แนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารเพื่อการก่อสร้างอย่างยั่งยืน กรณีศึกษาอาคารอำนวยการ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

Building Envelope Selection Guide for Sustainable Construction : Office Building Case Study

สุวัฒน์ เปี่ยมพรม[1,*] และสุชัญญา โปษยะนันทน์[2]

[1] นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร
[2] อาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: ceprofess@gmail.com*

บทคัดย่อ

จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยต่างๆ พบว่าอาคารสำนักงานในประเทศไทยใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60-70) ในระบบปรับอากาศ [1] ซึ่งเป็นภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศอันเนื่องมาจากปริมาณความร้อนที่ผ่านวัสดุกรอบอาคารเข้ามาภายในอาคาร งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาแนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารและหลังคาที่เหมาะสม เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมแนวคิดและทฤษฎีทางด้านการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่ผ่านวัสดุกรอบอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และประเมินการใช้พลังงานในอาคารโดยใช้โปรแกรม Building Energy Code (BEC) v.1.0.6 จากแบบมาตรฐานอาคารอำนวยการ กรมป้องกันและบรรเทา สาธารณภัย ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มอาคารประเภทสำนักงาน มีลักษณะเป็นอาคาร ค.ส.ล. สองชั้น พื้นที่ใช้สอย 765 ตารางเมตร พื้นที่ปรับอากาศ 480 ตารางเมตร พื้นที่ไม่ปรับอากาศ 330 ตารางเมตร และนำผลมาพิจารณาการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารซึ่งจะส่งผลกระทบต่องานก่อสร้างอาคารด้าน 1) ค่าใช้จ่ายทางตรง 2) ค่าใช้จ่ายทางอ้อม และ 3) ความยั่งยืน เพื่อเปรียบเทียบและแสดงแนวทางที่เหมาะสมในการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร โดยพบว่า

คำสำคัญ: วัสดุกรอบอาคาร, กรอบอาคาร, อนุรักษ์พลังงาน, โปรแกรม BEC

Abstract

Air conditioning systems use about 60-70% of all the electricity consumption in the office building in Thailand [1]. It caused by heat transfer through building envelope. This research aims to study the ways of reducing the electricity consumption in the buildings by choosing the right of building envelope materials to reduce the heat transfer to inside the building. This study is compiles ideas and methods about the building design for energy saving, laws and use Building Energy Code (BEC) v.1.0.6 programs to analyze the energy consumption. Use the standard drawing of the office building for case study. (469 m^2 are air conditioned area., 207 m^2 are not in the air conditioned area and 93 m^2 are passage). The analytical results are applied to the selection building envelope materials. It is resulting to 1) Sustainability 2) Direct Cost 3) Indirect Cost 4) Constructability. From the information, compare and provide the appropriate guidelines for reducing the heat that transfer throught building envelope materials to inside the building. It is the main factor that reduces the workload of the cooling system. The results to lower power consumption.

Keywords: Building Envelope Materials, Building Envelope, Energy Efficiency, Building Energy Code (BEC)

1. บทนำ

อาคารสำนักงานเป็นหนึ่งในเก้าประเภทอาคารที่กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดให้ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน[2] โดยพบว่าร้อยละ 60-70 พลังงานไฟฟ้าถูกใช้ไปกับระบบปรับอากาศ[1] ซึ่งภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่มาจากปริมาณความร้อนที่ผ่านวัสดุกรอบอาคารเข้ามาภายในอาคาร ดังนั้นการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารจึงเป็นปัจจัยหลักที่ช่วยลดภาระการทำงานของระบบทำความเย็น[3] ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงได้

จากปัญหาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษา อาคารอำนวยการ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาแนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารและหลังคา เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร และ2) ศึกษาผลกระทบจากการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารและหลังคาที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาค่าใช้จ่ายทางตรง และการพิจารณาด้าน

ความยั่งยืน เช่น การลดการใช้พลังงานไฟฟ้า การลดปริมาณการใช้วัสดุ และลดการกำจัดของเสีย เป็นต้น เพื่อเป็นทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งสอดคล้องกับนโยบายภาครัฐอีกทั้งยังเป็นต้นแบบหรือแนวทางสาหรับการออกแบบอาคารสำนักงานอื่นต่อไป

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

2.1 วัตถุประสงค์

2.1.1 ศึกษาแนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารและหลังคา เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร

2.1.2 ศึกษาผลกระทบจากการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารประกอบด้วย1) ผลกระทบด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น 2) ความยั่งยืน

2.2 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร และวัสดุหลังคา โดยศึกษาจากแบบมาตรฐานอาคารอำนวยการ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เพื่อเป็นแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร และวัสดุหลังคาให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนเป็นไปตามกฎกระทรวงกำหนดตามประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยปรับปรุงเฉพาะพื้นที่ส่วนปรับอากาศ วิเคราะห์ค่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนของวัสดุกรอบอาคารด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) v.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวัดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านอาคารและหลังคาและศึกษาผลกระทบจากการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารและหลังคาในด้านผลกระทบด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น และความยั่งยืน

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารจำเป็นต้องทราบถึงแหล่งที่มาของความร้อนภายนอกอาคารเพื่อพิจารณาเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน โดยแหล่งกำเนิดความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคารที่สำคัญคืออิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์[3] ซึ่งส่งผลกระทบต่ออาคารในด้านต่างต่าง ประกอบด้วย

1) อุณภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้า วันที่ท้องฟ้าอากาศแจ่มใสรังสีความร้อนสามารถผ่านชั้นบรรยากาศได้ดี ส่งผลให้อากาศร้อนกว่าวันที่ท้องฟ้ามืดครึ้ม

2) การแผ่รังสีความร้อน ดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนและแสงสว่างให้กับโลก รังสีความร้อนส่วนหนึ่งถูกดูดซับโดยชั้นบรรยากาศส่วนหนึ่งจะถูกพื้นดิดดูดซับไว้ในรูปพลังงานความร้อนและจะคายความร้อนในเวลากลางคืน

3) การถ่ายเทรังสีความร้อน การถ่ายเทรังสีความร้อนมีอยู่หลายลักษณะ ตามชนิดของต้นกำเนิดและลักษณะการถ่ายเท คือ

1) คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์
2) คลื่นรังสีสั้นแผ่กระจาย
3) คลื่นรังสีสั้นสะท้อนจากพื้นดิน และสิ่งใกล้เคียง
4) คลื่นรังสียาวจากพื้นดิน หรือสิ่งใกล้เคียงที่ร้อน
5) คลื่นรังสียาวที่อาคารแผ่กลับให้บรรยากาศ

เมื่ออาคารได้รับความร้อนจากแหล่งกำเกิดภายนอกจะเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุต่างๆ ที่อยู่โดยรอบอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งวัสดุที่อยู่ภายนอกอาคารที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอกเรียกโดยรวมว่า “กรอบอาคาร” โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) ผนังอาคาร แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

- ผนังทึบแสง เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังโครงเคร่าโลหะบุทับด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด เป็นต้น

- ผนังโปร่งแสง เป็นวัสดุกรอบอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูง เช่น กระจก อาจมีค่าสูง 5-10 เท่า ของผนังทึบแสง การเลือกใช้ผนังโปร่งแสงมีความสามารถในการป้องกันความร้อนสูงจะสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารลงได้

โดยลักษณะวัสดุผนังอาคาร[5] แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ผนังที่เป็นมวลสาร (Mass Wall) คือ ผนังที่มีมวลสารยึดกันทั่วทั้งผนังโดยการก่อหรือการหล่อเข้าด้วยกัน เช่น ผนังก่ออิฐมอญ ผนังก่อคอนกรีตมวลเบา และผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น 2) ผนังที่เป็นโครงเคร่า (Framing Wall) คือ ผนังที่มีโครงเคร่าเป็นโครงสร้างของผนัง และบุทับด้วยแผ่นวัสดุ 3) ผนังประกอบ (Composite Wall) คือ ผนังที่ประกอบ ด้วยผนังมวลสารและผนังโครงเคร่าเข้าด้วยกัน อาจรวมถึงการบุด้วยฉนวนกันความร้อนด้วย

2) หลังคา เป็นกรอบอาคารที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นบริเวณที่รองรับการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง วัสดุหลังคา แบ่งออกได้ 2 ชนิด ได้แก่

1) วัสดุมุงหลังคาชนิดแผ่นกระเบื้อง สามารถแบ่งออกได้เป็น

– กระเบื้องดินเผา เป็นวัสดุธรรมชาติที่ใช้มุงหลังคากันมาแต่โบราณปัจจุบันใช้มุงหลังคาที่ต้องการโชว์หลังคาเช่น บ้านทรงไทย โบสถ์ วิหาร

– กระเบื้องคอนกรีตหรือกระเบื้องซีเมนต์ วัสดุมุงหลังคาชนิดนี้มีความแข็งแรงและสวยงามแต่มีราคาค่อนค้างแพง และมีน้ำหนักมาก ทำให้โครงหลังคาที่จะมุงด้วยกระเบื้องชนิดนี้ต้องแข็งแรงขึ้น

– กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน หรือกระเบื้องเอสเบสทอสซีเมนต์ กระเบื้องชนิดนี้มีคุณสมบัติกันไฟ และเป็นฉนวนป้องกันความร้อน มีราคาไม่แพงและมุงหลังคาที่มีความลาดชันตั้งแต่ 10 องศา มีทั้งขนาดที่ใช้กับบ้านพักอาศัย และอาคารขนาดใหญ่กว่า

– กระเบื้องลอนคู่ ระบายน้ำได้ดีกว่ากระเบื้องลูกฟูก เนื่องจากมีลอนที่ลึกและกว้างกว่า จึงนิยมใช้มุงหลังคามากกว่า

– กระเบื้องคอนกรีตแผ่นเรียบ หรือเรียกว่าแผ่นชิงเกิ้ล มีความสวยงามเพราะผิวกระเบื้องมีความเนียนเรียบ

2) วัสดุมุงหลังคาโลหะ (Metal Sheet) หรือหลังคาเหล็กรีดลอน ทำจากแผ่นเหล็กอาบสังกะสีดัดเป็นลอน เคลือบสี จะมีรอยต่อน้อย สามารถรีดเป็นแผ่นยาวตลอดได้ จึงลดปัญหาการรั่วซึม สามารถดัดทำหลังคาโค้งได้สะดวก แต่วัสดุชนิดนี้มีปัญหาเรื่องความร้อน เนื่องจากหลังคาโลหะกันความร้อนได้น้อยมาก และมีปัญหาเรื่องเสียงในเวลาฝนตก

3) วัสดุอื่น เช่น พลาสติกหรือไฟเบอร์ที่เป็นแผ่นโปร่งใสทำเป็นรูปร่างเหมือนกระเบื้องชนิดต่างๆ เพื่อใช้มุงในบริเวณที่ต้องการแสงสว่าง และวัสดุประเภททองแดงหรือแผ่นตะกั่ว เป็นต้น

การป้องกันการการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารสามารถทำได้โดยการเลือกวัสดุกรอบอาคารที่เหมาะสมวัสดุ เช่น การเลือกวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความ ร้อนต่ำ[9] การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดบริเวณหน้าต่าง และฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังและหลังคา[10] โดยเฉพาะการบริเวณผนังโปร่งแสงจะช่วยลดค่าการถ่ายความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างดี[11] การปรับปรุงกรอบอาคารในรูปแบบต่างๆ ล้วนแล้วส่งผลกระทบต่อค่าใช้ของโครงการ

คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุกรอบอาคารที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร ประกอบด้วย

1) ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Resistivity)

ค่าการต้านทานความร้อน หรือ ค่า "R-Value" เป็นค่าที่บอกอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่านกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ โดยวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูงจะสามารถช่วยป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กรอบอาคารได้ดี

2) การนำความร้อน (Conductivity)

การนำความร้อน หรือ "K-Value" เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ โดยวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลาจากระยะทางจุดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่าน โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน

3) ความจุความร้อน (Thermal Capacity)

ความจุความร้อน เป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและอุณหภูมิ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสสารเป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่ทำให้สสารที่มีมวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา โดยมีหน่วยวัดเป็น Cal/g-°C หรือ J/kg.K ความจุความร้อนของวัสดุที่มีค่าน้อยการส่งผ่านความร้อนสู่ภายในอาคารจะมาก และส่งผ่านได้เร็ว จึงเหมาะกับบริเวณที่มีการใช้งานช่วงกลางคืน ส่วนความจุความร้อนของวัสดุที่มีค่ามาก ความร้อนที่ถูกส่งผ่านมายังภายในอาคารจะน้อยลง หรือส่งผ่านช้าลง จึงเหมาะกับบริเวณที่ใช้งานช่วงกลางวัน

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการใช้พลังงานในอาคาร[1]

กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ได้กำหนดมาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารในส่วนระบบกรอบอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร แต่ละประเภทในส่วนที่มีการปรับอากาศตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร(OTTV) และหลังคาอาคาร (RTTV)

ประเภทอาคาร/ ลักษณะการใช้อาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV)	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)
สำนักงาน สถานศึกษา	≤ 50 W/m^2	≤ 15 W/m^2
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	≤ 40 W/m^2	≤ 12 W/m^2
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	≤ 30 W/m^2	≤ 10 W/m^2

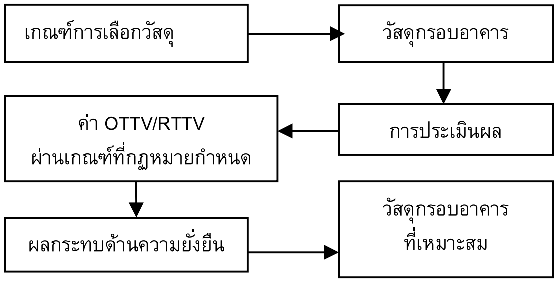
การวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [7]

งานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม Building Energy Code version 1.0.6 (BEC v.1.0.6) ในการจำลองการใช้วัสดุกรอบอาคารชนิดต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ซึ่งโปรแกรม BEC เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยกระทรวงพลังงานเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแบบอาคารต่อเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามที่กฎกระทรวงฯ กำหนด โดยโปรแกรมสามารถรายงานผลออกมาได้หลายรูปแบบ ทั้งค่าพลังงานรวมในอาคารทั้งหมด พลังงานในส่วนระบบปรับอากาศ พลังงานในระบบไฟฟ้า แสงสว่าง หรือในส่วนอื่นๆ แล้วแต่การป้อนข้อมูลของผู้ใช้โปรแกรม

4) วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร และวัสดุหลังคา โดยศึกษาเกณฑ์การเลือกวัสดุ และจากแบบมาตรฐานอาคารอำนวยการ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เพื่อใช้เป็นแนวทางการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคาร และวัสดุหลังคาให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนเป็นไปตามกฎกระทรวงกำหนดตามประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยปรับปรุงเฉพาะพื้นที่ส่วนปรับอากาศ โดยศึกษาผลกระทบจากการเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารและหลังคาด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) v.1.0.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวัดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV), ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) รวมถึงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร กรอบงานวิจัยที่ศึกษาแสดงตามรูปที่ 1



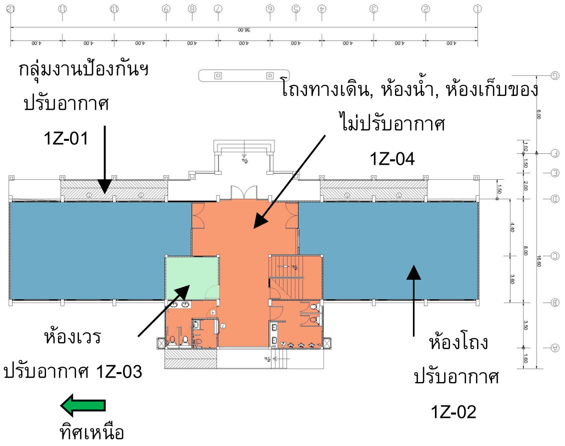
รูปที่ 1 กรอบงานวิจัย

a. *การจำลองสภาพอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์*

การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านวัสดุกรอบอาคารเข้าสู่ภายในอาคารจำเป็นต้องทราบค่าคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาใช้ โดยคุณสมบัติทางความร้อนที่เกี่ยวข้องในส่วนของผนังทึบประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity,k), ค่าความหนาแน่นของวัสดุ (Density, ρ)

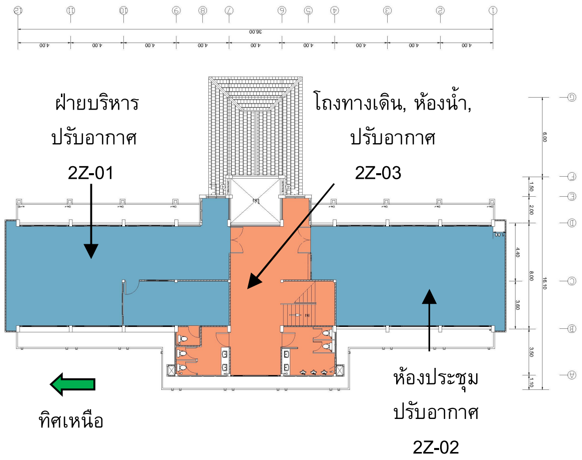
และค่าความต้านทานเฉพาะ (Specific Heat, Cp) ในส่วนของวัสดุผนังอาคารประเภทโปร่งแสงคุณสมบัติทางความร้อนที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต้องพิจารณาประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุ และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารโดยค่าคุณสมบัติด้านความร้อนวัสดุกรอบอาคารตามแบบแปลนมาตรฐาน

นอกจากการป้อนข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ แล้วการจำลองสภาพอาคารจำเป็นจะต้องกำหนดทิศทางของอาคาร เนื่องจากทิศทางการวางแนวของตัวอาคารส่งผลต่อการสัมผัสแสงอาทิศย์ของกรอบอาคาร ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ด้านแคบของอาคารวางแนวทางทิศเหนือ-ใต้ เพื่อลดพื้นที่กรอบอาคารที่แสงช่วงกลางที่มีความร้อนสูงตกกระทบกรอบอาคาร การจำลองสภาพอาคารเริ่มต้นจากการจัดพื้นที่อาคารกรณีศึกษา โดยพิจารณาจากลักษณะการปรับอากาศของพื้นที่และลักษณะของกรอบอาคาร แบ่งพื้นที่ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ได้แก่



ลำดับ	ชนิด	ความหนา (m)	K (W/m^2.^{o}C)	ρ (kg/m^3)	C_p (J/kg.^{o}C)
1	อิฐมอญ	0.07	0.498	1,615	0.79
2	ปูนฉาบ	0.01	0.72	1,860	0.84
3	แผ่นไฟเบอร์บอร์ด	0.008	0.052	264	1.3
4	กระเบื้องเซรามิค	0.008	0.338	2,100	0.80
5	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.03	0.993	2,400	0.79
6	ฝ้าเพดานแผ่นยิปซัมบอร์ด	0.009	0.306	725	1.09

รูปที่ 2 การแบ่งโซนพื้นที่ชั้น 1



รูปที่ 3 การแบ่งโซนพื้นที่ชั้น 2

1) กลุ่มพื้นที่ที่มีการปรับอากาศ และผนังเป็นกรอบอาคาร (1Z-01, 1Z-02, 2Z-01 และ 2Z-02)

2) กลุ่มพื้นที่ที่มีการปรับอากาศ และผนังไม่เป็นกรอบอาคาร (1Z-03)

3) กลุ่มพื้นที่ที่ไม่มีการปรับอากาศ (1Z-04 และ 2Z-04)

โดยการวิจัยนี้จะเลือกศึกษาเฉพาะกลุ่มพื้นที่กลุ่มที่ 1 เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจากภายนอกอาคารที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารมีผลต่อภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

i. คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร

วัสดุที่ใช้สำหรับก่อสร้างอาคารกรณีศึกษาเป็นวัสดุก่อสร้างทั่วไปที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารประเภทสำนักงานของทางราชการ โดยรายละเอียดวัสดุกรอบอาคาร แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดชนิดวัสดุกรอบอาคาร

ลำดับ	ประเภท	รายการ	ส่วนประกอบ
1	ผนังอาคาร	ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน	ปูนฉาบ+อิฐมอญ+ปูนฉาบ
	ผนังอาคาร	ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูน บุแผ่นสมาร์ทบอร์ด	ปูนฉาบ+อิฐมอญ+ปูนฉาบ+แผ่นสมาร์ทบอร์ด
	ผนังอาคาร	ผนังก่ออิฐมอญ บุกระเบื้องเซรามิค	ปูนฉาบ+อิฐมอญ+ปูนฉาบ+กระเบื้องเซรามิค
2	หน้าต่าง	กระจกใสเขียว	กระจกใสเขียว
3	หลังคา	กระเบื้องซีแพ็คโมเนีย	กระเบื้องคอนกรีต
4	ฝ้าเพดาน	ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด ฉาบเรียบ	แผ่นยิปซัม+ช่องว่างอากาศ

ค่าคุณสมบัติด้านความร้อนของวัสดุกรอบอาคารตามแบบแปลนมาตรฐาน แสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุกรอบอาคาร(วัสดุทึบ)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุกรอบอาคาร(โปร่งแสง)

ชนิด	ความ	ค่าการส่งผ่านรังสี	ค่าค่าสัมประสิทธิ์การ

	หนา (m)	ที่ตามองเห็น (T_{vis})	ถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC)
กระจกใสสีเขียว	0.005	0.78	0.64

ระบบปรับอากาศในอาคารทั้งหมดเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 25,000 Btu/Hr จำนวน 13 เครื่อง และขนาด 18,000 Btu/Hr จำนวน 1 เครื่อง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายละเอียดเครื่องปรับอากาศในอาคาร

ลำดับ	Zone	สถานที่	เครื่องปรับอากาศ (Btu/Hr)	การใช้พลังงาน (kW)	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (เครื่อง)
1	1Z-01	กลุ่มงานป้องกันฯ	25,000	7.327	3
2	1Z-02	ห้องโถง	25,000	7.327	3
*3	1Z-03	ห้องเวร	18,000	5.3	1
4	2Z-01	ฝ่ายบริหาร	25,000	7.327	4
5	2Z-02	ห้องประชุม	25,000	7.327	3

* พื้นที่โซน 1Z-03 ไม่นำข้อมูลเครื่องปรับอากาศมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากอยู่นอกพื้นที่ที่ทำการศึกษา

ii. องค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

1) องค์ประกอบของอาคารที่ต้องนำมาพิจารณา

*1.1 ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่เกิด*จากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบของอาคาร เนื่องจากผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาเป็นวัสดุก่ออิฐฉาบปูน ซึ่งมีค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารสูงมาก สามารถปรับปรุงเพื่อเพิ่มค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารได้

*1.2 ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่เกิด*จากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา เนื่องจากหลังคาของอาคารบริเวณพื้นที่ปรับอากาศเป็นหลังคากระเบื้องคอนกรีตซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนสูง สามารถปรับปรุงเพิ่มค่าความต้านทานความร้อนของหลังคากระเบื้องคอนกรีตได้

2) ในส่วนองค์ประกอบอาคารที่ไม่นำมาพิจารณา

*2.1 ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่เกิด*จากการนำความร้อน และการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจกสำหรับบริเวณที่เป็นกระจกในอาคารกรณีศึกษานี้กระจกที่ใช้เป็นกระจกใสสามารถปรับปรุงเพื่อลดค่าการนำความร้อนและป้องกันการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ได้ แต่เนื่องจากกระจกที่มีคุณสมบัติพิเศษในการต้านทานความร้อนมีราคาสูงและไม่เป็นที่นิยมสำหรับงานก่อสร้างอาคารในลักษณะกรณีศึกษา จึงไม่นำข้อมูลมาพิจารณา

*2.2 ภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่เกิด*จากการถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างเสาและคานของอาคาร เนื่องจากโครงสร้างเสา คาน เป็นส่วนประกอบหลักของอาคาร ซึ่งการปรับปรุงวัสดุโครงสร้างอาคารอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรง จึงไม่นำข้อมูลมาพิจารณา

iii. เกณฑ์การเลือกวัสดุกรอบอาคาร

การพิจารณาเลือกวัสดุกรอบอาคารมีเกณฑ์ที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย[12]

1) โครงสร้างของวัสดุกรอบอาคาร หากวัสดุกรอบอาคารไม่ได้เป็นส่วนของโครงสร้างหลักของอาคาร วัสดุกรอบอาคารนั้นต้องสามารถรับน้ำหนักตัวเอง และสามารถถ่ายน้ำหนักจากตัววัสดุเองไปสู่โครงสร้างหลักของอาคารได้
2) การต้านทานการซึมน้ำ
3) ทนทานต่อสภาวะอากาศต่างๆ
4) ความทนทานต่อการใช้งาน
5) รองรับการยืดหดจากสภาพความชื้นหรืออุณหภูมิตามฤดูกาล
6) การอนุรักษ์พลังงาน สามารถต้านทานการถ่ายเทความร้อนผ่านรังสีการพาความร้อน
7) การป้องกันเสียง
8) การต้านทานต่อความร้อนและควัน
9) การปกป้องผู้อยู่อาศัยจากภัยคุกคามภายนอก
10) บำรุงรักษาง่าย
11) สามารถก่อสร้างได้ตามรูปแบบที่กำหนด
12) มีความทนทาน และสามารถใช้งานได้นาน
13) มีความสวยงาม และน่าสนใจ
14) ประหยัด

สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีอากาศแบบร้อนชื้นกรอบอาคารที่ใช้ควรมีลักษณะ ดังนี้[13]

1) กรอบอาคารที่ใช้สามารถจำกัดผลการถ่ายเทความร้อนจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ได้ดี
2) หน้าต่างควรใช้อุปกรณ์บังแดดซึ่งบดบังรังสี ซึ่งจะช่วยให้อาคารได้รับแสงสว่างจากภายนอกได้ดี
3) หลังคา ใช้ฉนวนใต้หลังคาและเหนือฝ้าเพดาน จะช่วยลดผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้เป็นอย่างดี

iv. การเพิ่มประสิทธิภาพให้กรอบอาคาร

มาตรการที่สามารถช่วยให้กรอบอาคารมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันการความร้อนถ่ายเทผ่านกรอบอาคารสามารถทำได้หลายวิธี ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการป้องกันการถ่ายเทความร้อนให้กรอบอาคาร[19]

ลำดับที่	กรอบอาคาร	มาตรการ
1	ผนังทึบ	- เลือกใช้วัสดุที่มีมวลอุณหภาพที่เหมาะสมกับอาคาร
		- ใช้วัสดุแผ่รังสีความร้อนต่ำ
		- ทาผนังด้วยสีอ่อน

		- บุฉนวนผนังเพื่อลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคาร
2	กระจกหน้าต่าง	- ใช้อุปกรณ์บังแดด
		- ใช้กระจกหน้าต่างชนิดพิเศษที่มีค่า SHGC ต่ำและมีค่าการส่งผ่านแสงสูง
		- ไม่ใช้พื้นที่หน้าต่างมากจนเกินไป
3	หลังคา	- บุฉนวนพร้อมทั้งแผ่นสะท้อนรังสีใต้หลังคา
		- ใช้หลังคาที่มีสีอ่อน

b. การกำหนดรูปแบบกรอบอาคารในการศึกษา

เมื่อพิจาณาคุณสมบัติของวัสดุกรอบอาคารตามเกณฑ์การเลือกการเลือกวัสดุกรอบอาคาร และความเหมาะสมสำหรับประเทศไทย รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการป้องกันการถ่ายเทความร้อนให้กรอบอาคาร ประกอบกับความนิยมเลือกใช้ในการก่อสร้างอาคารประเภทสำนักงานของทางราชการแล้วจึงเลือกกรอบอาคารสำหรับทำการศึกษา ดังตารางที่ 7 โดยรูปแบบการศึกษาจะศึกษาผนังอาคาร 2 ลักษณะ ได้แก่ ผนังมวลสาร และผนังประกอบ ในส่วนหลังคาเลือกใช้การติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน และฉนวนกันความร้อน โดยที่ไม่ส่งผลต่อรูปลักษณ์ภายนอกของอาคารรูปแบบกรอบอาคารที่ทำการศึกษา แสดงตามตารางที่ 8

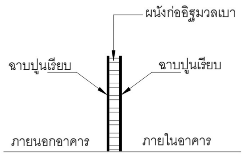
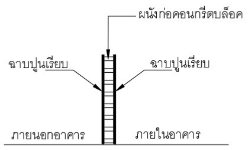
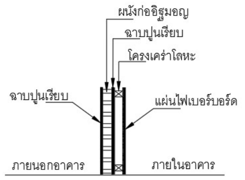
ตารางที่ 7 วัสดุกรอบอาคารสำหรับทำการศึกษา

ที่	วัสดุ	ความหนา (m)	K ($W/m^2.^oC$)	ρ (kg/m^3)	C_p ($J/kg.^oC$)
1	**วัสดุผนัง**				
1.1	อิฐมวลเบา	0.07	0.124	500	0.84
1.2	ปูนฉาบอิฐมวลเบา	0.01	0.326	1,200	0.84
1.3	คอนกรีตบล็อค	0.08	0.546	2,210	0.92

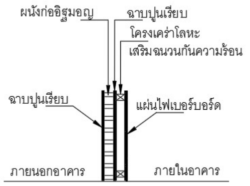
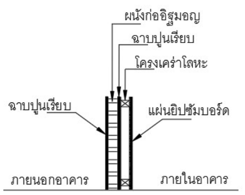
ตารางที่ 7 วัสดุกรอบอาคารสำหรับทำการศึกษา (ต่อ)

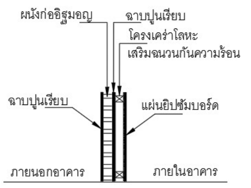
ที่	วัสดุ	ความหนา (m)	K ($W/m^2.^oC$)	ρ (kg/m^3)	C_p ($J/kg.^oC$)
1.4	แผ่นยิปซัมบอร์ดชนิดธรรมดา	0.012	0.318	760	1.09
1.5	ฉนวนกันความร้อนใยแก้ว	0.065	0.036	12	0.96
2	วัสดุหลังคา				
2.1	แผ่นสะท้อนความร้อนอลูมิเนียมฟอยล์	-	-	-	-
2.2	ฉนวนกันความร้อนใยแก้ว	0.05	0.042	12	0.96
2.3	ฉนวนกันความร้อนใยแก้ว	0.075	0.042	12	0.96

ตารางที่ 8 รูปแบบกรอบอาคารในการศึกษา

รูปแบบที่	ประเภท	รูปแบบกรอบอาคารหลังคา	วัสดุกรอบอาคาร
1	ผนังมวลสาร		ปูนฉาบ+อิฐมวลเบา+ปูนฉาบ
2	ผนังมวลสาร		ปูนฉาบ+คอนกรีตบล็อค+ปูนฉาบ
3	ผนังประกอบ		ปูนฉาบ+อิฐมอญ+ปูนฉาบ+แผ่นไฟเบอร์บอร์ด

ตารางที่ 8 รูปแบบกรอบอาคารในการศึกษา (ต่อ)

รูปแบบที่	ประเภท	รูปแบบกรอบอาคารหลังคา	วัสดุกรอบอาคาร
4	ผนังประกอบ		ปูนฉาบ+อิฐมอญ+ปูนฉาบ+ฉนวน+แผ่นไฟเบอร์บอร์ด
5	ผนังประกอบ		ปูนฉาบ+อิฐมอญ+ปูนฉาบ+แผ่นยิปซัมบอร์ด

6	ผนังประกอบ		ปูนฉาบ+อิฐมอญ+ปูนฉาบ+ฉนวน+แผ่นยิปซัมบอร์ด
7	หลังคา	หลังคาคอนกรีต+สะท้อนความร้อน	
8	หลังคา	หลังคาคอนกรีต+ ฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว	
9	หลังคา	หลังคาคอนกรีต+ ฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว	

c. เกณฑ์การปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารกรณีศึกษา

การวัดผลจะใช้เกณฑ์ตามมาตรฐานประสิทธิภาพตามกฎหมายของประเทศไทย โดยกำหนด ค่า OTTV ต้องไม่เกิน 50 W/m^2 และค่า RTTV ต้องไม่เกิน 15 W/m^2

d. การพิจารณาผลกระทบจากการเลือกใช้วัสดุชนิดต่างๆ

3.5.1 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายทางตรงและค่าใช้จ่ายทางอ้อม สำหรับการศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะในส่วนค่าใช้จ่ายทางตรง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านค่าวัสดุก่อสร้าง และค่าแรงติดตั้ง

3.5.2 ความยั่งยืน การพิจารณาด้านความยั่งยืนในการเลือกใช้วัสดุพิจารณาโดยใช้เกณฑ์ด้านต่างๆ ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เกณฑ์การคัดเลือกวัสดุที่มีความยั่งยืน [15]

ระหว่างกระบวนการผลิต	ระหว่างการก่อสร้างและติดตั้ง	หลังหมดอายุอายุการใช้งาน
– การลดการเกิดของเสีย – การป้องกันการเกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม – การใช้วัสดุรีไซเคิล – ลดการใช้พลังงาน	– ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน – ประสิทธิภาพในการใช้น้ำและลดการใช้น้ำ – ความไม่เป็นพิษ	– ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ – รีไซเคิลได้ – นำมาใช้ซ้ำได้ – อื่นๆ

ตารางที่ 9 รูปแบบกรอบอาคารในการศึกษา (ต่อ)

ระหว่างกระบวนการผลิต	ระหว่างการก่อสร้างและติดตั้ง	หลังหมดอายุอายุการใช้งาน
– ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ	– ผลิตพลังงานทดแทน – อายุการใช้งานยาวนาน	

5) ผลการวิจัย

5.1) ผลการจำลองสภาพอาคารกรณีศึกษาด้วยโดยโปรแกรม BEC

เมื่อทำการจำลองข้อมูลอาคารและมวลผลโดยโปรแกรม BEC v.1.0.6 พบว่าพบว่าอาคารกรณีศึกษามีค่า OTTV เฉลี่ยเท่ากับ 59.369 W/m^2 และค่า RTTV เฉลี่ยเท่ากับ 21.430 W/m^2 สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กฎกระทรวงฯ กำหนด และมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศรวมทั้งสิ้น 93.86 kWh/Y

จากข้อมูลที่ได้พบว่าผนังอาคารประเภทมวลสารที่ให้ค่า OTTV รวมของอาคารผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎกระทรวงฯ กำหนด คือ ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน (รูปแบบที่ 1) โดยมีค่า OTTV รวมเท่ากับ 44.179 W/m^2 ลดลงจากเดิม 15.190 W/m^2 คิดเป็น 25.59% ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูน(รูปแบบที่ 2) มีค่า OTTV รวม เท่ากับ 58.504 W/m^2 ลดลงจากเดิม 0.865 W/m^2 คิดเป็น 1.46% ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎกระทรวงฯ กำหนด

ผนังอาคารในลักษณะผนังประกอบ การเพิ่มผนังด้านในอาคารโดยใช้ผนังไฟเบอร์บอร์ดความหนา 8 มม. ติดตั้งบนโครงเคร่าโลหะสำเร็จรูป (รูปแบบที่ 3) จะช่วยให้ค่า OTTV รวมของอาคารมีค่าลดลง โดยมีค่า OTTV รวม เท่ากับ 45.500 W/m^2 ลดลงจากเดิม 13.869 W/m2 คิดเป็น 23.36% ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎกระทรวงฯ กำหนด และการเพิ่มฉนวนกันความร้อนใยแก้วความหนา 3 นิ้วระหว่างผนัง (รูปแบบที่ 4) จะยิ่งช่วยให้ ค่า OTTV รวม ต่ำลงโดยมีค่าเท่ากับ 33.819 W/m^2 ลดลงจากเดิม 25.550 W/m2 คิดเป็น 43.04%

ผนังอาคารในลักษณะผนังประกอบ การเพิ่มผนังด้านในอาคารโดยใช้ผนังยิปซัมบอร์ดความหนา 12 มม. ติดตั้งบนโครงเคร่าโลหะสำเร็จรูป (รูปแบบที่ 5) จะช่วยให้ค่า OTTV รวมของอาคารมีค่าลดลง โดยมีค่า OTTV รวม เท่ากับ 48.659 W/m^2 ลดลงจากเดิม 10.710 W/m^2 คิดเป็น 18.04% ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎกระทรวงฯ กำหนด และการเพิ่มฉนวนกันความร้อนใยแก้วความหนา 3 นิ้วระหว่างผนัง (รูปแบบที่ 6) จะยิ่งช่วยให้ ค่า OTTV รวม ต่ำลงโดยมีค่าเท่ากับ 33.995 W/m^2 ลดลงจากเดิม 25.374 W/m2 คิดเป็น 42.74%

ส่วนหลังคา การติดตั้งอลูมิเนียมฟลอยด์ใต้หลังคา (รูปแบบที่ 7) ช่วยให้ค่า RTTV รวมของอาคารมีค่าลดลง โดยมีค่า OTTV รวมเท่ากับ 13.081 W/m^2 ลดลงจากเดิม 8.349 W/m^2 คิดเป็น 38.96% ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎกระทรวงฯ กำหนด การเพิ่มฉนวนกันความร้อนใยแก้วความหนา 2 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน (รูปแบบที่ 8) จะยิ่งช่วยให้ค่า RTTV รวม ลดลงมากยิ่งขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 9.170 W/m^2 ลดลงจากเดิม 12.260 W/m2 คิดเป็น 57.21% เช่นเดียวกับการเพิ่มฉนวนกันความร้อนใยแก้วความหนา 3 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน (รูปแบบที่ 9) โดยมีค่าเท่ากับ 7.450 W/m^2 ลดลงจากเดิม 13.980 W/m2 คิดเป็น 65.24%

ตารางที่ 9 ค่า OTTV (W/m^2)

รายการ	ค่า OTTV (W/m^2)		
	ค่า OTTV	ลดลง	เปอร์เซ็นต์
แบบมาตรฐาน	59.369	-	-
รูปแบบที่ 1	44.179	15.190	25.59%
รูปแบบที่ 2	58.504	0.865	1.46%
รูปแบบที่ 3	45.500	13.869	23.36%
รูปแบบที่ 4	33.819	25.550	43.04%
รูปแบบที่ 5	48.659	10.710	18.04%
รูปแบบที่ 6	33.995	25.374	42.74%

ตารางที่ 10 ค่า RTTV (W/m^2)

รายการ	ค่า RTTV (W/m^2)

	ค่า RTTV	ลดลง	เปอร์เซ็นต์
แบบมาตรฐาน	21.430	-	-
รูปแบบที่ 7	13.081	8.349	38.96%
รูปแบบที่ 8	9.170	12.260	57.21%
รูปแบบที่ 9	7.450	13.980	65.24%

ตารางที่ 11 ค่าการใช้พลังงานรวมจากการปรับปรุงผนังอาคาร

รายการ	ค่าการใช้พลังงานรวม (kWh/Year)		
	พลังงานที่ใช้	ลดลง	เปอร์เซ็นต์
แบบมาตรฐาน	93.86	-	-
รูปแบบที่ 1	77.81	16.05	19.02%
รูปแบบที่ 2	92.92	0.94	1.13%
รูปแบบที่ 3	79.20	14.66	17.38%
รูปแบบที่ 4	66.88	26.98	31.97%
รูปแบบที่ 5	82.53	11.33	13.43%
รูปแบบที่ 6	67.06	26.8	31.76%

ตารางที่ 12 ค่าการใช้พลังงานรวมจากการปรับปรุงหลังคา

รายการ	ค่าการใช้พลังงานรวม (kWh/Year)		
	พลังงานที่ใช้	ลดลง	เปอร์เซ็นต์
รูปแบบที่ 7	79.48	14.38	5.85%
รูปแบบที่ 8	77.16	16.7	8.60%
รูปแบบที่ 9	76.14	17.72	9.81%

รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่า OTTV/RTTV และค่าการใช้พลังงานรวม

ผลกระทบด้านค่าใช้จ่าย

จากการศึกษาด้านค่าใช้จ่าย สรุปได้ดังตารางที่

รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)/ตร.ม.		
	ค่าวัสดุ	ค่าแรง	ราคารวม
แบบมาตรฐาน	364	255	619
รูปแบบที่ 1	287	203	490
รูปแบบที่ 2	203	242	445
รูปแบบที่ 3	203	95	298
รูปแบบที่ 4	508	120	628
รูปแบบที่ 5	200	100	300
รูปแบบที่ 6	505	125	630
รูปแบบที่ 7	47	20	67
รูปแบบที่ 8	105	25	130
รูปแบบที่ 9	187.5	25	212.5

ความยั่งยืน

วัสดุกรอบอาคาร

6) บทสรุป

ตารางที่ 10 ค่าการใช้พลังงานรวม

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). คู่มือชุดความรู้ การอนุรักษ์พลังงานสำหรับสำนักงาน.

[2] กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 หมวด 1 ประเภทและขนาดของอาคาร ข้อ 2 เล่ม 126 ตอนที่ 12 ก ราชกิจจานุเบกษา วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2552.

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). คู่มือเผยแพร่ อาคารต้นแบบประหยัดพลังงานภาครัฐ.

[4] สำนักพัฒนาบุคคลด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร).

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2545). เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง และฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.กรุงเทพฯ. หน้า 3-16

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2545). เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ. หน้า 2-1 - 2-15

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). คู่มือโปรแกรม Building Energy Code version.

[8] บุญชัย พันธุ์ธีรานุรักษ์. (2558). มูลค่าก่อสร้างของอาคารเขียว. ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(นวัตกรรมอาคาร) สาขาวิชานวัตกรรมอาคาร. บัณฑิตวิทยาลัมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[9] มัลลิกา ปู่เพ็ชร์ และ เจนจิรา ขุนทอง. (2559). การศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อการพลังงาน กรณีศึกษาอาคารสถานศึกษา. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1 วันที่ 10-11 สิงหาคม 2559. (358-366).

[10] ปรัชญา ปัตถาวงศ์ และวิทยา ยงเจริญ. การศึกษากรอบอาคารชุดและแนวทางการประหยัดพลังงาน. สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

[11] ศราวุธ ศรีนุศิษย์. การปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษา อาคารโรงพยาบาลเลิดสิน. หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549

[12] BUILDING ENVELOPE DESIGN GUIDE. (2561). [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 10 เมษายน 2561]. จาก https://www.wbdg. org/ guides-specifications/building-envelope-design-guide/ building-nvelope-design-guide-introduction

[13] พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรม. (2558). คู่มือการตรวจประเมินอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. หน้า 4-2

[14] สำนักพัฒนาบุคคลด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.(2560).คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร). หน้า 3-51

[15] Jong-Jin Kim. (1988). Sustainable Architecture Module: Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials. Assistant Professor of Architecture, and Brenda Rigdon Inc., pp.25.